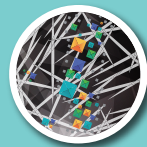


Coordenadores:

Luciano Lourenço

Adélia Nunes

XIV ENCONTRO
NACIONAL
de RISCOS



Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais. Aprender com o Passado



RISCOS

Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança
Coimbra, 2022

Volvida uma década, o Encontro Nacional de Riscos, na sua XIV edição, regressou à Universidade de Coimbra. Depois de vários Encontros terem decorrido de Norte a Sul do território continental e no arquipélago da Madeira, o XIV Encontro, sobre “Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais - Aprender com o Passado”, voltou a Coimbra para visitar as cheias e inundações de 2001, que imprimiram um rasto de destruição em várias bacias hidrográficas nacionais, com destaque para a do rio Mondego, onde o rebentamento de vários diques, a jusante de Coimbra, provocou mais de uma centena de desalojados.

No decurso destas duas décadas, o risco de cheia e de inundação voltou a manifestar-se, com as inundações de janeiro e fevereiro de 2016 a causarem avultados prejuízos na área ribeirinha de Coimbra e, as de dezembro de 2019, a afetarem vastas áreas da planície aluvial do rio Mondego. Assim, diremos que o objetivo deste Encontro, à semelhança de outros anteriores, visou visitar acontecimentos nefastos, para deles retirar os ensinamentos que podem transmitir e, assim, aprender com essa(s) experiência(s) do passado.

Para tal, neste Encontro colocaram-se os agentes de proteção civil, o órgão de gestão das bacias hidrográficas, a empresa de gestão da produção de energia da barragem da Aguieira e o Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, a discutir com a comunidade científica as causas e as consequências destes acontecimentos e, sobretudo, a refletir sobre os desafios que se colocam à gestão integrada desta bacia hidrográfica, no intuito de evitar/reduzir o risco de cheias e o consequente risco de inundações no Baixo Mondego.

A expectativa foi a de que, com o envolvimento e articulação de todos, se pudesse reduzir o risco de inundações no Baixo Mondego, através do aumento tanto da resiliência das comunidades, como das capacidades de antecipação e de resposta dos meios de prevenção e socorro em situação de crise. A publicação das intervenções proferidas durante este XIV ENR pretende contribuir para esse desiderato.



RISCOS
ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

ESTRUTURAS EDITORIAIS | EDITORIAL STRUCTURES
Estudos Cindínicos

DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR
Luciano Lourenço

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS
António Amaro, Adélia Nunes, António Vieira, Fátima Velez de Castro
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT
Fernando Félix
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD

Adélia Nunes
Universidade de Coimbra

Ana Meira Castro
Instituto Superior de Engenharia do Porto

António Betâmio de Almeida
Instituto Superior Técnico, Lisboa

António Duarte Amaro
Escola Superior de Saúde do Alcoitão

António Vieira
Universidade do Minho

Cármem Ferreira
Universidade do Porto

Fátima Velez de Castro
Universidade de Coimbra

Helena Fernandez
Universidade do Algarve

Humberto Varum
Universidade de Aveiro

José Simão Antunes do Carmo
Universidade de Coimbra

Luciano Lourenço
Universidade de Coimbra

Romero Bandeira
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Tiago Ferreira
Universidade do Minho

Tomás de Figueiredo
Instituto Politécnico de Bragança

Antenora Maria da Mata Siqueira
Universidade Federal Fluminense, Brasil

Carla Juscélia Oliveira Souza
Universidade de São João del Rei, Brasil

Esteban Castro
Universidade de Newcastle, Reino Unido

José António Vega
Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Espanha

José Arnaez Vadillo
Universidade de La Rioja, Espanha

Lidia Esther Romero Martín
Universidade Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

Miguel Castillo Soto
Universidade do Chile

Montserrat Díaz-Raviña
Inst. Inv. Agrobiológicas de Galicia, Espanha

Norma Valencio
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Ricardo Alvarez
Univ. Atlântica, Florida, Estados Unidos da América

Victor Quintanilla
Universidade de Santiago de Chile, Chile

Virginia Araceli García Acosta
CIESAS, México

Xavier Ubeda Cartaña
Universidade de Barcelona, Espanha

Yvette Veyret
Universidade de Paris X, França

LUCIANO LOURENÇO
ADÉLIA NUNES
(COORDS.)



**RISCO DE CHEIAS E RISCO
DE INUNDAÇÕES FLUVIAIS.
APRENDER COM O PASSADO**

EDIÇÃO

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Email: riscos@riscos.pt

URL: <https://www.riscos.pt/publicacoes/sec/>

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Luciano Lourenço e Adélia Nunes

IMAGEM DA CAPA

Karine Nieman

PRÉ-IMPRESSÃO

Fernando Félix

EXECUÇÃO GRÁFICA

Simões & Linhares, Lda.

ISSN

2184-5727

DOI (Série)

<https://doi.org/10.34037/978-989-54295-1-6>

Depósito Legal

495408/22

ISBN

978-989-9053-11-3

ISBN Digital

978-989-9053-12-0

DOI

https://doi.org/10.34037/978-989-9053-12-0_10

1.ª Edição

CEGOT
Centro de Estudos de Geografia
e Ordenamento do Território

FCT
Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia



**REPÚBLICA
PORTUGUESA**

Este trabalho é Financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto “UIDB/GEO/04084/2020” e “UIDP/GEO/04084/2020”.

This work is Financed by National Funds through the FCT - Foundation for Science and Technology under the project “UIDB/GEO/04084/2020” and “UIDP/GEO/04084/2020”.

ÍNDICE

PREFÁCIO	9
AS CHEIAS E O RISCO DE INUNDAÇÕES NO BAIXO MONDEGO	15
Monitorização da variação secular dos parâmetros climatológicos em Coimbra: o caso da precipitação para análise de riscos hidrológicos Joana R. Domingues, Maria Alexandra Pais, Paulo Ribeiro, Alcides Pereira e Vasco Mantas	17
Estudo das inundações do rio Mondego a jusante da confluência do rio Ceira até à ponte Açude Teresa Fragoso, João Bravo, António Correia e Luís Araújo Santos	39
Contributos do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Coimbra para o estudo das Cheias do Mondego José Afeu Sá Maques, Nuno Eduardo Simões e Fernando Seabra Santos	53
Impactos das grandes cheias do rio Mondego na região de Coimbra - uma resenha histórica João Pardal, Lúcio Cunha, Alexandre Oliveira Tavares, Pedro Pinto Santos e Luís Leitão	75
Gestão do risco de inundações no Baixo Mondego Carlos Luís Tavares	109
Investimentos do PO SEUR na redução de riscos de cheias e inundações. “O exemplo do Baixo Mondego” José Marques Guedes	129
Projetar o futuro revivendo acontecimentos passados: as cheias de 2001 no rio Mondego e na queda da ponte Hintze Ribeiro, no rio Douro José Simão Antunes do Carmo	145
RISCOS DE INUNDAÇÃO NOUTRAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE PORTUGAL E DO Brasil	167
O risco hidrológico no município de Braga: contributo para a sua cartografia Isabel Catarina da S. M. Ferreira, António Bento-Gonçalves e António Vieira	169
Estimativas de caudais de ponta no Parque Natural de Montesinho aplicando o método SCS Tamires Bertocco, Tomás de Figueiredo e Felícia Fonseca	197
Tendências de evolução temporal dos caudais médios diários em bacias de montanha do NE de Portugal Vinícius Kenzo Okada, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca e Maurício Morerira dos Santos	209

ÍNDICE

A vala de Alpiarça e o risco de inundação em Almeirim Samuel Rodrigues Tomé e Luciano Lourenço	225
Inundações urbanas na Amazónia setentrional, Boa Vista-RR-Brasil Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior	249
Gestão do risco de inundações em Petrópolis (RJ - Brasil). Interface entre diferentes políticas públicas Jacques Manz, Raul Reis Amorim e Carmen Ferreira	269
Contribuição da educação na resolução do risco de inundação: estudo de caso através da observação de imagens Mário Talaia e Pedro Talaia	313

PREFÁCIO

A nível mundial, as cheias e as consequentes inundações fluviais são as catástrofes mais comuns, representando 44% das manifestações registadas no período compreendido entre 2000 e 2019, de acordo com a *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNISDR). Afetaram, nesse período, 1,6 mil milhões de pessoas em todo o mundo, o valor mais elevado quando comparado com outros tipos de catástrofes.

À escala europeia, nestas últimas décadas, as cheias e as inundações representaram cerca de 1/3 das perdas causadas por fenómenos naturais e, na União Europeia, os seus respetivos custos anuais médios ultrapassam 4 mil milhões de euros. Também na região mediterrânea, as cheias e as inundações são consideradas as catástrofes com maior potencial de destruição, sendo de igual modo as que causaram o maior número de vítimas mortais e os danos materiais mais elevados.

Em Portugal, as cheias e as inundações foram, de igual modo, o fenómeno natural mais frequente e mortífero durante o último século. A este propósito, recorde-se o evento ocorrido de 25 para 26 de novembro de 1967, na área da Grande Lisboa, com inundações a causarem um elevado número de mortos, a rondar cinco centenas, milhares de desalojados e inúmeras habitações destruídas. Também as cheias e inundações de 2001 imprimiram um rasto de destruição em várias bacias hidrográficas nacionais, destacando-se a do rio Mondego, onde o rebentamento de vários diques, a jusante de Coimbra, provocou mais de uma centena de desalojados. Em dezembro de 2019, apesar de se terem registado caudais bastante superiores aos assinalados na cheia de 2001, apenas dois diques colapsaram, deixando também vastas áreas da planície aluvial do rio Mondego submersas pela água, inúmeras povoações isoladas, estradas cortadas e danos muito significativos em múltiplas infraestruturas e nos campos agrícolas.

Na bacia do Mondego, à semelhança de outras bacias do território nacional, as cheias e as inundações são seculares e, apesar das obras de regularização realizadas, elas continuam a ocorrer, provocando avultados prejuízos. Pode afirmar-se, todavia, que o estado atual de conhecimento sobre os processos que conduzem à ocorrência de cheias e de inundações se encontra relativamente bem consolidado, integrando processos eminentemente naturais, a que se associam outros fatores desencadeantes ou agravantes de origem antrópica. Como justificar, neste contexto, a contínua manifestação dos riscos de cheia e de inundações, com consequências mais ou menos graves, ano após ano?

Sob o tema “Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais. Aprender com o Passado” decorreu nos dias 16 e 17 de julho de 2021, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, o XIV Encontro Nacional de Riscos em que, à semelhança do que aconteceu com edições anteriores, se revisitou um acontecimento particularmente nefasto, cuja efeméride “redonda” ocorreu neste ano, para dele retirar os ensinamentos que pode transmitir e, assim, aprender com essas experiências. Neste Encontro colocou-se a comunidade científica, bem como e, sobretudo, os agentes de proteção civil, os órgãos de soberania regionais/locais, os professores dos ensinos básico e secundário e a população em geral, a refletir sobre o que fazer em caso de situações de catástrofe provocadas pela manifestação dos riscos de cheias e de inundações fluviais, aprendendo com o passado para melhorar o presente e o futuro, tomando consciência de que a frequência e intensidade destes eventos hidrológicos excecionais têm tendência para aumentar e afetar um número crescente de pessoas e bens. Discutiu-se, também, a importância que um eficaz planeamento e ordenamento do território podem ter na redução destas catástrofes e avaliou-se e refletiu-se sobre a importância da educação formal na construção de sociedades mais conscientes e resilientes a tais riscos.

Porque a “memória do risco” tem um papel fundamental na evolução do conhecimento, por ter uma importância determinante na estrutura das ações dos atores sociais e na escolha das tomadas de decisão, tendo em vista a redução dos riscos, presentes ou futuros, baseada na experiência adquirida, o livro que agora se apresenta, para “memória futura”, reúne vários contributos que, de forma complementar, consolidam os conhecimentos e as aprendizagens que se possam retirar do estudo de eventos catastróficos passados. Constitui-se por catorze capítulos, dividido em duas partes; a primeira, sobre “As cheias e o risco de inundações no Baixo Mondego” e, a segunda, sobre “Riscos de inundação noutras bacias hidrográficas de Portugal e do Brasil”.

No primeiro capítulo, intitulado “*Monitorização da variação secular dos parâmetros climatológicos em Coimbra: o caso da precipitação para análise de riscos hidrológicos*”, da autoria de Joana Domingues, Maria Alexandra Pais, Paulo Ribeiro, Alcides Pereira e Vasco Mantas, avalia-se a correlação entre a precipitação, medida na estação meteorológica da Av. Dr. Dias da Silva, em Coimbra, e as cheias registadas nesta cidade. Os resultados obtidos mostram correlações baixas entre os anos de cheias em Coimbra e os anos de maior precipitação anual, sugerindo a necessidade de integração de maior

número de parâmetros de toda a Bacia do Mondego, nomeadamente a intensidade e a duração da precipitação noutros pontos da bacia, o caudal, assim como o uso e ocupação do território, características geomorfológicas da bacia, entre outros.

Teresa Fragoso, João Bravo, António Correia e Luís Araújo Santos apresentam, na sequência o “*Estudo das inundações do rio Mondego a jusante da confluência do rio Ceira até à Ponte Açudé*”, onde procuram avaliar a adequabilidade da utilização de programas de simulação dinâmica de Precipitação-Escoamento como ferramenta para a previsão de cheias. Como caso de estudo adotaram o evento de cheia ocorrido no Mondego, em dezembro de 2019. Pela análise verificou-se que o coeficiente de rugosidade de Manning tem uma forte relevância nos resultados obtidos sendo um parâmetro crucial na calibração do programa, pelo que o conhecimento rigoroso da cobertura vegetal nas margens do rio se torna fundamental, segundo os autores deste trabalho.

José Alfeu Sá Maques, Nuno Eduardo Simões e Fernando Seabra Santos, no capítulo seguinte explanam os “*Contributos do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Coimbra para o estudo das cheias na região de Coimbra*” ao qual, na sequência das inundações de 2000/2001 e 2016, foi solicitado uma análise destes eventos. Os estudos requeridos tinham como objetivo explicar as razões da ocorrência das cheias, avaliar o comportamento dos intervenientes na operação de gestão das barragens e retirar ensinamentos para a gestão e atuação futuras. Os resultados obtidos demonstraram que, em ambas as cheias, a gestão das descargas da barragem da Aguieira não foi feita de acordo com os protocolos em vigor, pois, a serem seguidos, os caudais máximos e os níveis de água poderiam ter sido muito reduzidos e as inundações drasticamente mitigadas. Acrescentam, no entanto, outros fatores agravantes dos respetivos impactes: a deficiente manutenção das infraestruturas e da limpeza das margens, bem como o assoreamento do leito junto à cidade de Coimbra. Acresce a necessidade de integração dos conhecimentos mais atuais no domínio da previsão, seja meteorológica, hidrológica ou hidráulica, e das tecnologias de comunicação, para que a decisão do operador possa ser mais bem informada, e que é outra das conclusões evidenciada.

No capítulo seguinte, os autores, João Pardal, Lúcio Cunha, Alexandre Oliveira Tavares, Pedro Pinto Santos e Luís Leitão, fazem um levantamento dos “*Impactos das grandes cheias do rio Mondego na região de Coimbra - uma resenha histórica*”, através da consulta de bases documentais históricas e registos

hidrométricos (antigos e atuais). Assim, no período de 1200 a 2021, identificaram 296 cheias, 32 classificadas de catastróficas e 60 de extraordinárias. Entre os impactos mais relevantes, salientam a perda de vidas humanas, o isolamento das populações, situações de insalubridade e doenças, perdas agrícolas e na pecuária, destruição de infraestruturas hidráulicas e vias de comunicação, habitações, igrejas, conventos e comércio. Concluíram que o Mondego poderá estar parcialmente “domado” pelas atuais estruturas hidráulicas, mas “não controlado”, por isso é necessário adaptar o atual sistema de gestão da Bacia Hidrográfica à realidade atual.

Sobre a “*Gestão do risco de inundação no Baixo Mondego*”, Carlos Luís Tavares conclui, no capítulo que se segue, que as medidas estruturais de proteção são fundamentais na redução dos riscos de cheias e de inundações, acrescentando que, nos eventos de 2000, 2001, 2016 e, principalmente, no de 2019, ficou evidente a necessidade de serem complementadas com o desenvolvimento de atividades não-estruturais. Destaca, neste âmbito, o ordenamento do território, a gestão da emergência e o envolvimento das comunidades locais em todo o processo de gestão do risco.

O “*Investimento do POSEUR na Redução de Riscos de Cheias e Inundações. O Exemplo do Baixo Mondego*”, é o título do capítulo da autoria de José Marques Guedes, no qual se analisa o financiamento comunitário a projetos com o objetivo de Redução de Riscos de Cheias e Inundações, com especial destaque para os investimentos aprovados na Bacia Hidrográfica do Mondego. Assim, no que concerne ao Baixo Mondego foram 7 as operações financiadas, que representam um investimento total superior a 36 M€, destinados principalmente à limpeza de leitos e margens (vegetação e/ou materiais), e a ações para reduzir a impermeabilização dos solos, através da rearboreção das margens em zonas críticas.

No capítulo “*Projetar o futuro revivendo acontecimentos passados. As cheias do rio Mondego e a queda da ponte Hintze Ribeiro*”, José Antunes do Carmo analisa as cheias de 2000/2001 que afetaram a cidade de Coimbra e a planície do Baixo Mondego. Contudo, nesse mesmo ano hidrológico ocorreu a “tragédia de Entre-os-Rios”, com o colapso da ponte Hintze Ribeiro, provocando a morte de 59 pessoas. O Autor é perentório ao afirmar que o colapso da ponte Hintze Ribeiro é um exemplo concreto de resposta do leito aluvionar a alterações antrópicas, só possíveis por manifesta permissividade, gestão inadequada, negligência e fiscalização inexistente. Acrescenta que o fenómeno de erosão localizada, em pilares de pontes construídas em fundos

aluvionares, representa um risco acrescido à segurança da estrutura e dos seus utilizadores. Enfatiza, por fim, a necessidade de estudar e acompanhar as alterações do leito junto aos pilares, mas também ao longo de extensões significativas do rio para montante e para jusante do trecho onde a infraestrutura se encontra implantada.

A segunda parte deste livro, congrega vários capítulos sobre os “Riscos de inundação noutras bacias hidrográficas de Portugal e do Brasil”. No trabalho apresentado por Isabel Machado Ferreira, António Bento-Gonçalves e António Vieira, sobre “*O risco hidrológico no município de Braga: contributo para a sua cartografia*”, constatou-se que apesar do risco hidrológico estar inserido no grande grupo dos riscos naturais, uma vez que a sua manifestação se encontra associada às características do meio natural, também apresenta várias condicionantes antrópicas, sobretudo relacionadas com a evolução da urbanização, sendo de destacar, neste município, as construções nas proximidades dos cursos de água, o aumento das taxas de impermeabilização e as obstruções nos cursos de água e nos sistemas de drenagem.

Os dois capítulos seguintes, versam sobre a resposta hidrológica de cursos de água, localizados Nordeste de Português; o primeiro, da autoria de Tamires Bertocco, Tomás de Figueiredo e Felícia Fonseca, trata “*Estimativas de caudal de ponta no Parque Natural de Montesinho aplicando o método SCS*” e avalia a influência que os lameiros exercem na regulação do ciclo hidrológico em pequenas bacias de drenagem em zonas de montanha; o segundo, da autoria de Vinícius Kenzo Okada, Tomás de Figueiredo Felícia Fonseca e Maurício Morerira dos Santos, analisa as “*Tendências de evolução temporal dos caudais médios diários em bacias de montanha do NE de Portugal*”. Os resultados obtidos, no primeiro destes estudos, mostra a influência da área ocupada por lameiros nas respostas hidrológicas, apontando para um aumento, em cenários de mudanças climáticas, mais expressivo nos caudais de ponta, quando os lameiros estão em condição de abandono. No segundo estudo ficou evidente um decréscimo tanto dos caudais como dos coeficientes de escoamento (valores médios), com a redução da precipitação a significar caudais abaixo do expectável, quando se considera apenas a variação espacial das precipitações na região.

No capítulo seguinte, com o título “*A vala de Alpiarça e o risco de inundação em Almeirim*”, Samuel Rodrigues Tomé e Luciano Lourenço analisam as inundações fluviais ocorridas durante mais de um século, na cidade de Almeirim, com o intuito de perceber se a construção de barragens, no rio Tejo, teve um impacte significativo

na sua redução, tanto em termos de periodicidade como de altura hidrométrica. Os resultados mostram que o risco de inundação diminuiu, contudo o seu controlo só será efetivo quando se promover uma gestão adequada de água descarregada pelas barragens, em plena concertação entre Portugal e Espanha.

Os capítulos que se seguem, de Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior e de Jacques Manz, Raul Reis Amorim e Carmen Ferreira, versam, respetivamente, sobre as “*Inundações urbanas na Amazônia Setentrional, Boa Vista-RR-Brasil*” e sobre a “*Interface entre diferentes políticas públicas na gestão do risco de inundações em Petrópolis, RJ – Brasil*”. No primeiro, analisam-se, de forma integrada, fatores biofísicos e socioeconómicos, essenciais no enquadramento geoespacial do risco de inundação na cidade de Boa Vista, com o intuito de identificar as áreas potencialmente perigosas e socialmente vulneráveis a eventos desta natureza, enquanto no segundo, se analisa a interface entre Políticas Nacionais, seja de Recursos Hídricos ou de Proteção e Defesa Civil, e Sistemas Nacionais, neste caso, o de Unidades de Conservação, na gestão do risco de inundações em Petrópolis.

A fechar este livro, Mário Talaia e Pedro Talaia apresentam o capítulo intitulado “*Contribuição da educação na resolução do risco de inundação: caso através da observação de imagens*”, onde exploram a combinação de fundamentos teóricos, que permitem a interpretação do risco de inundações e a utilização de imagens de diferentes locais, para mostrar as consequências da manifestação deste risco, considerando-a como uma valiosa estratégia na prevenção de eventos futuros.

Trata-se, sem dúvida, de um livro de elevada utilidade para investigadores, decisores públicos, professores e estudantes, com interesse nesta matéria ou com responsabilidade na análise e gestão dos riscos de cheias e de inundações fluviais. A expectativa é a de que, com o envolvimento e articulação de todos, se possa reduzir o risco de inundações no Baixo Mondego, assim como noutras bacias nacionais e internacionais, através do aumento, tanto da capacidade de antecipação, tornando as comunidades mais resilientes, como da capacidade de resposta dos meios de socorro em situação de crise, para mitigar os danos.

Coimbra, 14 de novembro de 2021.

Adélia Nunes

AS CHEIAS E O RISCO
DE INUNDAÇÕES NO
BAIXO MONDEGO

**MONITORIZAÇÃO DA VARIAÇÃO SECULAR DOS
PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS EM COIMBRA:
O CASO DA PRECIPITAÇÃO PARA ANÁLISE DE
RISCOS HIDROLÓGICOS**

**MONITORING THE SECULAR VARIATION OF
CLIMATOLOGICAL PARAMETERS IN COIMBRA:
THE CASE OF PRECIPITATION FOR
HIDROLOGICAL RISK ANALYSIS**

Joana R. Domingues* **

ORCID: 0000-0003-3310-5039
joana_barreto_domingues@hotmail.com

Paulo Ribeiro* ****

ORCID: 0000-0002-4430-7149
pribeiro@ci.uc.pt

Vasco Mantas* **

ORCID: 0000-0001-9602-7715
vasco.mantas@dct.uc.pt

Maria Alexandra Pais* ***

ORCID: 0000-0002-2729-2897
pais@fis.uc.pt

Alcides Pereira* **

ORCID: 0000-0002-7392-2255
apereira@dct.uc.pt

Universidade de Coimbra*, CITEUC*
FCT,* Departamento de Ciências da Terra**
Departamento de Física*** Observatório
Geofísico e Astronómico**** (Portugal)

Resumo: Este estudo consiste numa análise secular das séries de valores diários de precipitação do Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra (OGAUC), durante o período de 1880 a 1990. A valorização dessas séries foi possível pela transferência para formato digital das tabelas de dados dos Anuários do Observatório Meteorológico e Magnético, mais tarde convertido em Instituto Geofísico da UC. Pretende-se pesquisar a relação entre a precipitação medida na estação meteorológica da Av. Dr. Dias da Silva e as cheias registadas em Coimbra. Durante a maior parte do período analisado o

rio Mondego apresentou um regime natural, sendo que apenas durante os últimos 10 anos da série de dados estudada o regime de caudal passou a estar regularizado. Foi utilizada a Análise em Componentes Principais para identificação dos principais modos de variabilidade da precipitação, e comparada a evolução temporal desses modos com séries de índices meteorológicos usualmente tidas como proxies do clima observado em Portugal. Os resultados obtidos estão de acordo com estudos anteriores, mas sugerem também novas linhas de pesquisa.

Palavras-chave: Séries temporais, cheias, rio Mondego, pluviosidade, análise em componentes principais.

Abstract: This study consists of an analysis of the series of daily rainfall values from the Geophysical and Astronomical Observatory of the University of Coimbra (OGAUC), from 1880 to 1990. It became possible to recover and use the data as a consequence of the conversion to digital format of the data charts from the yearbooks of the Meteorological and Magnetic Observatory (OMM), that later became the Geophysical Institute of UC (IGUC). The main objective of the study is to assess how the precipitation measured at the meteorological station on Av. Dr. Dias da Silva is related to the floods recorded in Coimbra. For most of the period in question, the River Mondego had a natural regime and it is only during the last 10 years of data that the flow regime became regularised. We used Principal Component Analysis (PCA) to identify the main modes of rainfall variability and compared the temporal evolution of these modes with the meteorological index series usually taken as proxies of the climate in Portugal. The results obtained are in agreement with previous studies, but also suggest new lines of research.

Keywords: Time series, floods, River Mondego, rainfall, principal component analysis.

Introdução

Em 1864 foi fundado o Observatório Meteorológico e Magnético (OMM) no alto da Cumeada (hoje Av. Dr. Dias da Silva) a cerca de 1500 m do rio Mondego, num local a 140 m de altitude e coordenadas geográficas 8°23' longitude Oeste e 40°12' latitude Norte (fig. 1). Tendo como primeiro diretor o professor da Faculdade de Filosofia Jacinto António de Sousa, o OMM iniciou a sua atividade com instrumentos meteorológicos e magnéticos cuidadosamente aferidos pelo observatório de Kew (Inglaterra), com o objetivo de permitir alcançar um conhecimento preciso do clima de Coimbra, bem como do comportamento do campo magnético terrestre (Santos, 1995). As observações meteorológicas tiveram início ainda com o observatório em construção, a 1 de fevereiro de 1864. Durante o período inicial foi apenas possível fazer observações tri-horárias.

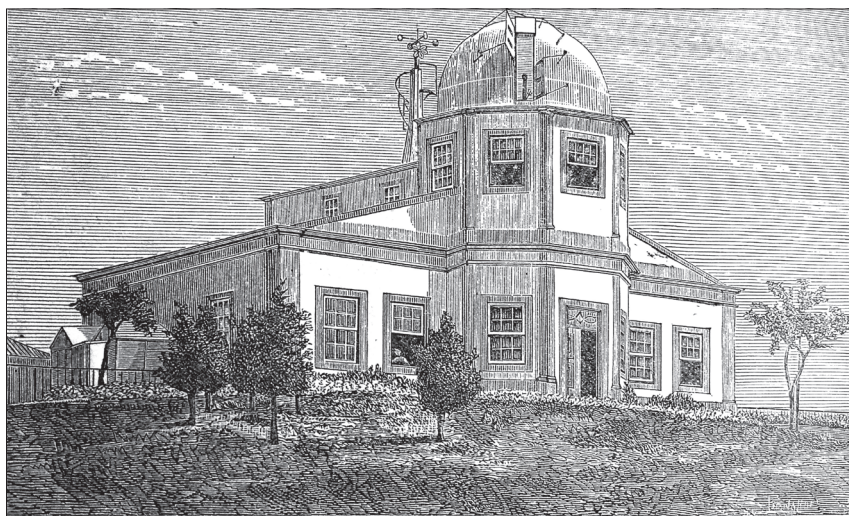


Fig. 1 - Ilustração do edifício principal do IGUC na Cumeada (atual Av. Dr. Dias da Silva) (Fonte: OGAUC).

Fig. 1 - Illustration of the IGUC main building at Cumeada (today, Av. Dr. Dias da Silva) (Source: OGAUC).

Os trabalhos de sismologia iniciaram-se na última década do século XIX mas foi com a instalação do pêndulo horizontal de Milne, em 1903, que o registo sismológico

se passou a fazer de forma regular (Custodio *et al.*, 2012). Em 1925, o OMM passou a designar-se Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC).

O Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra foi inaugurado em 1799. Com a instalação do espetro-heliógrafo analógico, em 1926, que foi adaptado para registo digital em 2007, iniciou-se a observação regular do Sol. Este instrumento tem como função obter imagens do Sol, mais precisamente das camadas da sua atmosfera, num comprimento de onda bem definido como o de certas linhas espectrais do cálcio e hidrogénio. Essas imagens, obtidas diariamente salvo em dias com condições atmosféricas adversas são utilizadas para estudar a atividade solar nas suas diversas manifestações – protuberâncias, manchas, filamentos, entre outros (Lourenço *et al.*, 2019)

Em 2013, o Instituto Geofísico fundiu-se com o Observatório Astronómico da UC para dar origem ao Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra (OGAUC).

As longas séries meteorológicas do OGAUC servirão de base ao presente trabalho. Nelas se incluem as seguintes variáveis climatológicas: Pressão Atmosférica, Temperatura do Ar, Tensão de Vapor, Humidade Relativa, Velocidade e Direção do Vento, Precipitação, Insolação, Configuração e Quantidade de Nuvens, Concentração de Ozono (descontinuada em 1904), e Estado Geral do Tempo. Neste trabalho o foco incidirá sobre as séries de precipitação do OGAUC desde o final do século XIX, mais concretamente desde 1880 até 1990.

Por precipitação entende-se qualquer fenómeno de queda de água do céu, independentemente do seu estado físico, incluindo por isso chuva, neve e granizo. Existem 3 configurações básicas no que toca à precipitação: Frontal, com origem no contacto lateral entre massas quentes e massas frias; Convectiva, associada a correntes ascendentes localizadas em zonas de convecção; e Orográfica, onde por consequência do relevo, a massa de ar é forçada a subir acabando por arrefecer, condensar e precipitar (Santos *et al.*, 2018).

A série secular de precipitação recolhida no OGAUC entre 1880 e 1990, foi construída a partir das leituras dos valores diários de acumulação das águas das chuvas das 9h às 9h (udómetro L. Casella a partir de 1864 – *fig. 2 A*; udómetro de Fuess a partir de 1949) e dos registos horários da precipitação (udógrafo L. Casella de 1875 a 1936 – *fig. 2 B*; udógrafo de Fuess a partir de 1935).



Fig. 2 - Instrumentos utilizados para medição da precipitação (A - Udómetro; B - Udógrafo) (Fonte: Projeto HISTIGUC – 150 anos de história do IGUC).

*Fig. 2 - Instruments used to measure rainfall (A - Udometer; B - Udograph)
(Source: HISTIGUC Project - 150 years of IGUC's history).*

A principal diferença entre estes dois instrumentos passa por um deles – o udógrafo – estar preparado para registar continuamente os valores de precipitação. Já no caso do udómetro, o volume de água recolhida no recipiente tem de ser medido através de uma proveta de vidro graduada em décimas de milímetro.

A precipitação tem um papel fundamental no ciclo hidrológico, contribuindo de forma crítica para a evolução do caudal de um rio e para a eventual ocorrência de cheias.

Quanto maior for o caudal do curso de água, maior o risco de existir uma cheia fluvial. No entanto, o caudal, assim como o tempo de resposta da bacia e de propagação da cheia, está dependente das características geomorfológicas e fisiográficas da bacia hidrográfica, que afetam diretamente a infiltração da água no solo, a escorrência superficial e a carga sólida (fig. 3). Estas dependem, por sua vez, do tipo e uso do solo, estado da vegetação, relevo e ocupação antrópica (Rocha, 1995). No caso das *flash floods*, caracterizadas por serem eventos que decorrem em

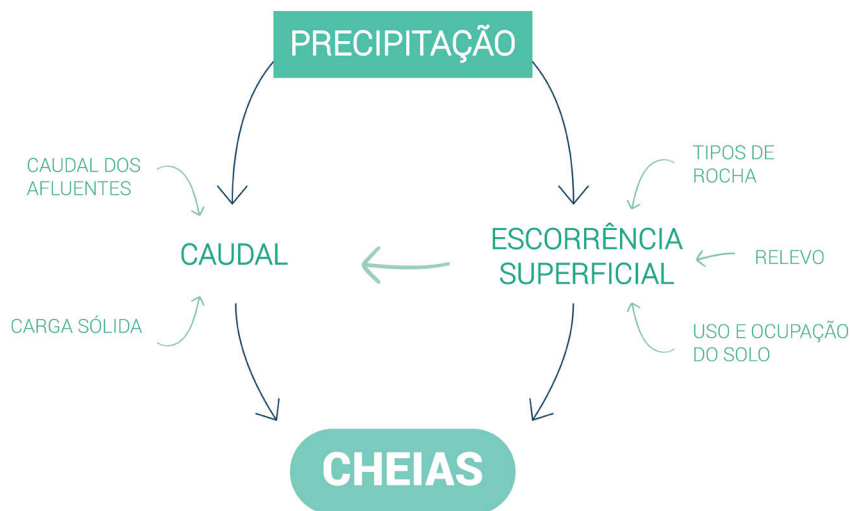


Fig. 3 - Esquema dos fatores condicionantes de cheias.

Fig. 3 - Diagram of conditioning factors in floods.

escalas temporais e espaciais pequenas, o principal fator é a precipitação intensa ou sobre solos extremamente saturados, que levam a uma produção rápida de escorrência superficial. Este tipo de eventos é um dos riscos naturais mais destrutivos do mundo, causando perdas humanas, danos em propriedades, infraestruturas e indústrias (Modrick e Georgakakos, 2015).

A Bacia do Mondego

O rio Mondego, que tem como principais afluentes os rios Pranto, Arunca, Ceira, Alva e Dão, nasce na Serra da Estrela, a cerca de 1547 m de altitude e vai desaguar junto à Figueira da Foz, no Oceano Atlântico, percorrendo um total de cerca de 258 km (Ribeiro e Gamito, 2012).

Cerca de 70% da área da bacia é constituída por rochas graníticas e metamórficas, através de vales bastante encaixados, com porosidade e permeabilidade reduzida a muito reduzida, o que por consequência leva a uma grande disponibilidade de água

à superfície para escorrência superficial. Outro fator que promove a escorrência superficial é o relevo acentuado da Cordilheira Central, com encostas muito declivosas que dificultam a infiltração. Quando as massas de ar colidem com esta barreira natural promovem fenômenos de precipitação, podendo chegar a triplicar os valores medidos em regiões de vale (Rodrigues *et al.*, n.d.).

Na região de Coimbra, entre os anos de 1931 e 1960, registou-se uma precipitação média anual entre 700 e 800 mm, observando-se valores mais altos de precipitação nas zonas com orografias elevadas, sendo, neste último caso o triplo dos valores observados em Coimbra (fig. 4).

A variabilidade espacial da precipitação está associada a fatores como a distância relativa a fontes de humidade, temperatura e direção e intensidade dos ventos dominantes (Nicolau, 2002).

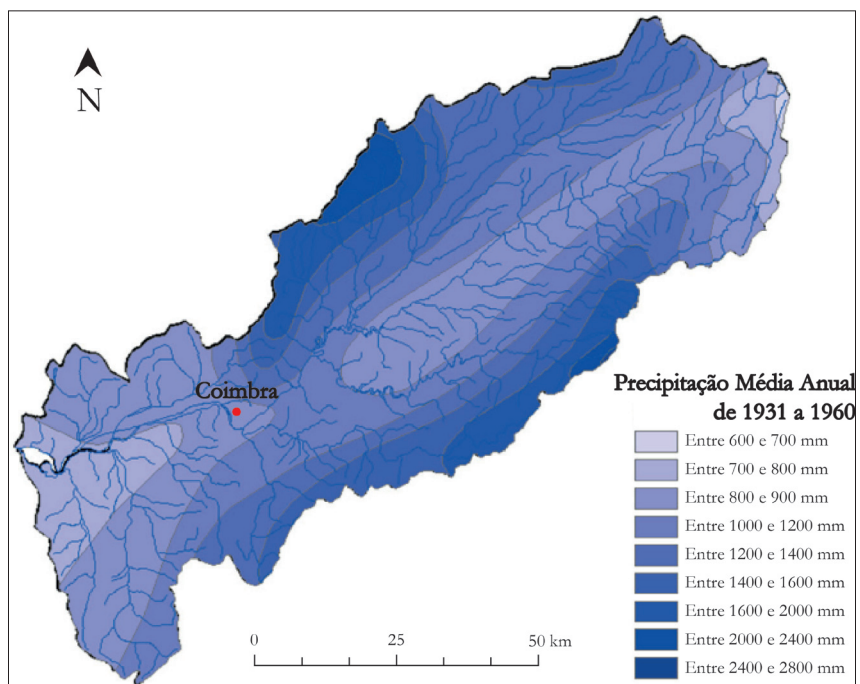


Fig. 4 - Mapa da Precipitação Média Anual na Bacia do Mondego (1931-1960)
(Fonte: Adaptado de A. Santos, 2019).

Fig. 4 - Map of Average Annual Rainfall in the Mondego Basin (1931-1960)
(Source: Adapted from A. Santos, 2019).

No caso específico da distância relativa a fontes de humidade, a região onde a bacia do Mondego está inserida é fortemente afetada pela proximidade ao Oceano Atlântico, que causa o aumento da humidade do ar, com consequente influência na temperatura e níveis de precipitação (Portela *et al.*, 2012). De acordo com a Classificação Köppen-Geiger atualizada, o clima de Coimbra, também chamado de Clima Mediterrâneo, está classificado como Csb caracterizado por um período frio e húmido (outubro a março) e um período quente e seco (julho e agosto) (Graça *et al.*, 2002; Kottek *et al.*, 2006).

O regime climático dominante influencia o coberto vegetal do solo, e está deste modo profundamente associado à variabilidade espacial da escorrência superficial/infiltração. A bacia do Mondego apresenta grandes manchas de vegetação arbórea, o que constitui um fator determinante no favorecimento da infiltração e na diminuição da velocidade e poder abrasivo da escorrência superficial. A ocorrência de incêndios, frequentes nesta região, leva a uma maior taxa de erosão favorecida pelo elevado declive orográfico.

Quando o rio Mondego chega à cidade de Coimbra, encontra a jusante desta uma planície aluvial com permeabilidade mais elevada, propícia à fácil infiltração da água das chuvas (Paiva, 2020). A expansão urbana da cidade contribuiu, em sentido contrário, para a forte impermeabilização do solo, favorecendo o aumento da escorrência superficial local.

As condições climáticas mediterrâneas e o regime torrencial sentido no setor mais a montante da bacia hidrográfica do Mondego, faz com que o rio Mondego seja muito irregular em regime natural, e extremamente dependente da precipitação. A ocorrência de elevados caudais fluviais resultantes de chuvas abundantes e prolongadas, geralmente de difícil previsão, tornava frequente a existência de cheias e inundações no setor terminal da bacia, com consequências graves para a população, como a destruição de culturas e diversas estruturas (Cunha, 2002; Paiva, 2020).

Com a regularização do Mondego, mais concretamente com o funcionamento das barragens de Aguieira e Fronhas, o número de cheias em Coimbra diminuiu a partir de 1980.

Dados Utilizados

Dados de precipitação

Os dados utilizados são referentes ao período de 1880 a 1990, e correspondem aos valores diários de precipitação recolhidos na estação do OGAUC situada na avenida Dr. Dias da Silva, em Coimbra. Estes dados, foram publicados em anuários a partir de 1864, sendo os valores diários organizados em tabelas, transcritas para formato digital, em particular em ficheiros Excel. Estes dados foram ainda comparados com a secção 'Estado Geral do Tempo e Notas', para referência de fenómenos de geada ou granizo, ou ainda a presença de neve nas serras mais próximas e avistáveis a partir da estação.

Dados de caudal e informação sobre cheias

Para avaliar como é que a precipitação sentida e registada na estação do OGAUC influencia o caudal do Rio Mondego e conseqüentemente as cheias, recolheu-se informação referente a valores de caudal e episódios de ocorrência de cheias.

A secção de 'Estado Geral do Tempo e Notas' dos anuários publicados regista, para um período mais antigo (entre 1864 a 1915, aproximadamente), a existência de cheias no Rio Mondego. A partir desta data (1915) deixa de haver referência a cheias nos anuários, pelo que teve de ser realizada uma pesquisa bibliográfica para se proceder à identificação deste tipo de eventos em Coimbra, onde entre os recursos utilizados se incluem notícias de jornais, livros/guias, dissertações e artigos científicos.

Posteriormente e de maneira a verificar qual a influência da precipitação local no caudal do rio, foram utilizados os dados do caudal médio diário, em m³ por segundo, na Ponte Santa Clara (estação: 12G/04H), entre outubro de 1955 e setembro de 1985, obtidos através do *site* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, n.d.).

Resultados e Discussão

Com a compilação dos dados efetuada, procedeu-se ao seu processamento e análise. Primeiramente, a série de precipitação foi submetida a um conjunto de análises com o intuito da sua validação através de comparação dos resultados com outros estudos já publicados. Seguidamente, a interpretação dos dados permitiu-nos avaliar a influência da precipitação local na ocorrência de cheias em Coimbra.

Variabilidade da precipitação

Com o intuito de determinar a variabilidade de precipitação ao longo do ano, foi calculada a contribuição mensal para o total anual de precipitação para todo o período de estudo, para os 5 anos com maior precipitação e para os 5 anos mais secos. A partir das curvas (fig. 5), consegue-se avaliar a distribuição de precipitação ao longo do ano, em diferentes regimes. Note-se que se optou por representar a sequência de meses ao longo de um ano hidrológico, isto é, com início em outubro e terminando em setembro do ano civil seguinte.

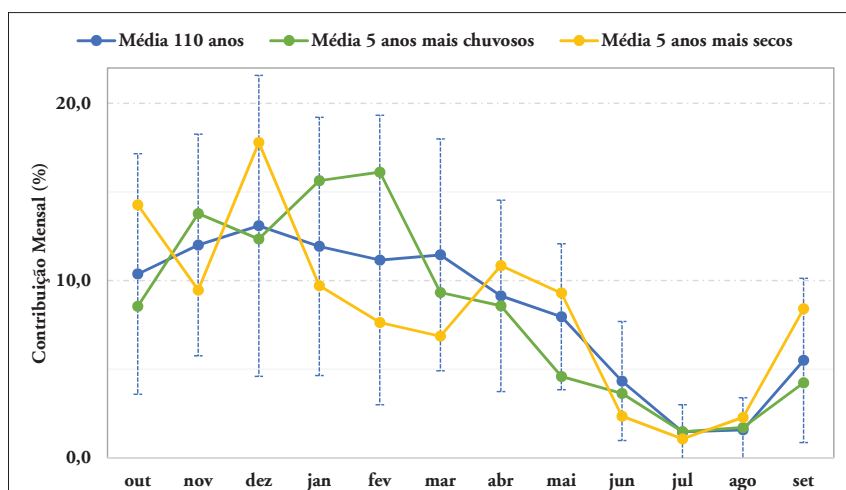


Fig. 5 - Contribuição Mensal para a Curva Anual de Precipitação (1880-1990).

Fig. 5 - Monthly Contribution to the Annual Rainfall Curve (1880-1990).

- Para os 110 anos estudados, 70% da precipitação média ocorre entre os meses de outubro a março, correspondendo assim à época húmida, e os meses de junho a agosto apresentam os mínimos de precipitação média, correspondendo, portanto, à época seca;
- Os 5 anos mais secos apresentam uma grande variabilidade na época húmida, atingindo o seu pico no mês de dezembro;
- Os 5 anos mais chuvosos apresentam uma variabilidade não tão significativa, com valores médios relativamente elevados entre novembro e fevereiro e o pico no mês de fevereiro.

A técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada para uma análise prospetiva dos dados. O propósito da sua aplicação foi identificar padrões característicos de distribuição mensal da pluviosidade e como a amplitude de cada padrão varia ao longo do tempo. Esta técnica de análise multivariada procura condensar num conjunto relativamente pequeno de variáveis estatísticas – os modos principais - o máximo de informação contida nas séries de dados. A ACP foi aplicada ao conjunto de dados de médias diárias de precipitação ao longo de cada mês do ano hidrológico, para todo o período de 1880 a 1990.

De acordo com a distribuição espectral de energia no sinal de precipitação pelos diferentes modos, verificamos que 67% da variância está concentrada nos primeiros 4 modos (fig. 6).

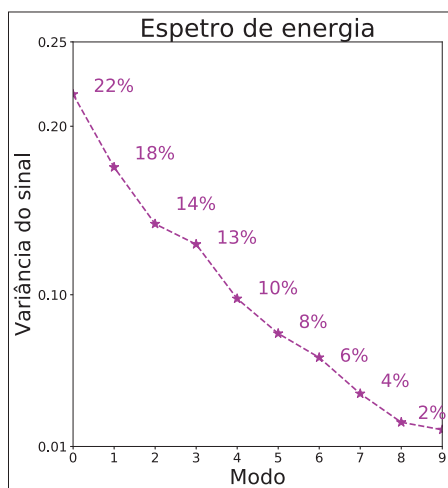


Fig. 6 - Espectro de energia no sinal de precipitação.

Fig. 6 - Energy spectrum in the rainfall signal.

Quando analisamos estes primeiros modos (fig. 7), verificamos que o primeiro (mais energético) parece ter a precipitação acoplada entre os meses de outubro a fevereiro, apresentando o seu pico neste mês. Ao comparar esta curva com a correspondente à média da contribuição mensal relativa dos 5 anos mais chuvosos, verificamos que apresentam comportamentos idênticos, o que permite afirmar que este modo pode representar a variabilidade dos anos mais chuvosos.

De facto, a curva azul que na figura 7 se sobrepõe à distribuição de precipitação característica do primeiro modo principal, concretamente com um pico acentuado em fevereiro e um mínimo também marcado em maio, é obtida calculando uma média que inclui os 3 anos de maior precipitação e os anos ordenados de 7 a 9. Os anos ordenados de 4 a 6 apresentam uma estrutura diferente na distribuição relativa da pluviosidade ao longo do ano, i.e., o modo 1 não é o modo dominante na descrição da variabilidade observada nestes três anos (1940/41, 1959/60 e 1963/64).

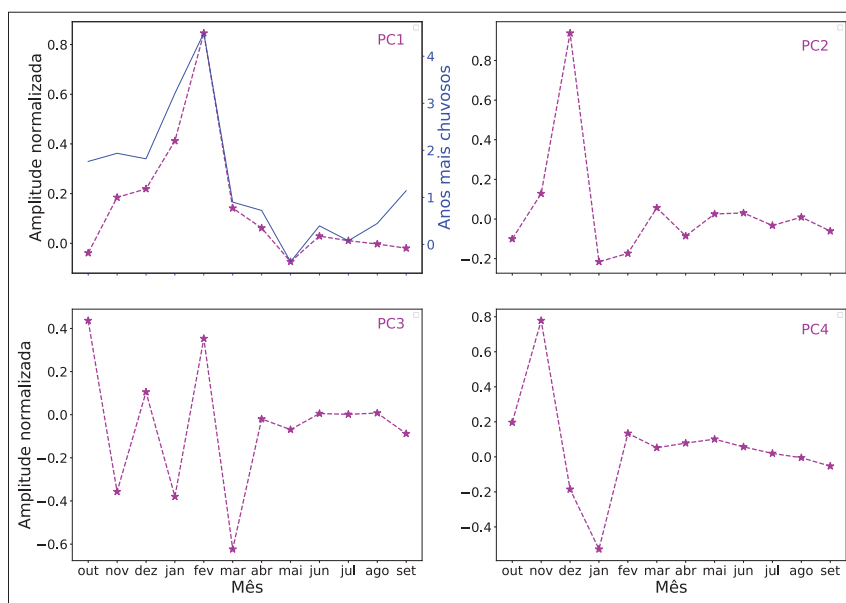


Fig. 7 - Modos principais resultantes da ACP.

Fig. 7 - Main modes given by the PCA.

Para verificar a influência de fenômenos climáticos conhecidos sobre a precipitação em Coimbra, comparou-se a variação temporal do primeiro modo (i.e., a variação da representação desse modo nos dados, ao longo dos anos) à série do índice que descreve a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) para a totalidade do período estudado, e à série de dados do Índice da Escandinávia (SCA) de 1950 a 1990. A Oscilação do Atlântico Norte é o modo de circulação atmosférica dominante no Hemisfério Norte e está relacionado com a alternância da intensidade de centros de altas pressões subtropicais e centros de baixas pressões subpolares, que é geralmente observável através da diferença de pressão entre a Islândia e os Açores. Estas flutuações de intensidade favorecem a intensificação dos ventos de Oeste na fase positiva e atenuam-na na fase negativa (fig. 8). Este modo de circulação afeta a trajetória de sistemas depressionários, condicionando a temperatura e especialmente a precipitação sobre grande parte da Europa, Norte de África e até mesmo a costa Leste da América do Norte (López-Moreno *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2017). Outros índices associados a modos de circulação atmosférica, como o índice do Atlântico Este (EA) e o índice da Escandinávia, respetivamente segundo e terceiro modos da variabilidade da pressão do nível do mar no Inverno na Europa, também têm influência nos regimes de precipitação na região.

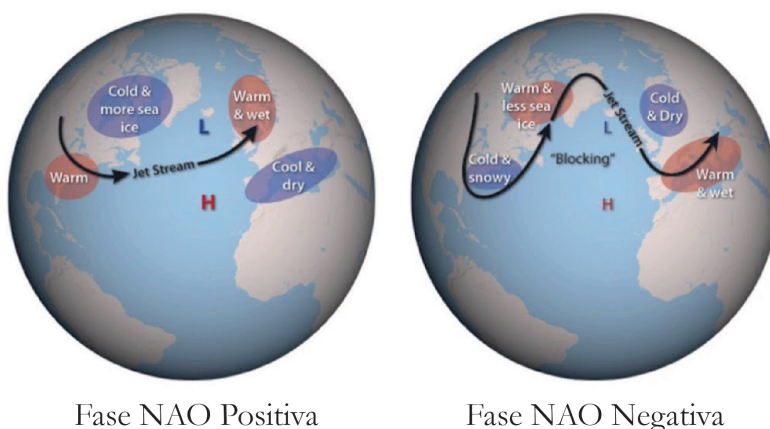


Fig. 8 - Ilustração das fases da Oscilação do Atlântico Norte (NAO)
(Fonte: NOAA Climate).

Fig. 8 - Illustration of the North Atlantic Oscillation (NAO) phases
(Source: NOAA Climate).

Os maiores valores de precipitação na Europa do Sul são registados durante a fase negativa do índice NAO, sendo propícios ao desenvolvimento de situações de cheias. Já a fase positiva deste índice, para a região da bacia mediterrânea, corresponde a ar mais frio e seco, levando à diminuição das temperaturas mínimas e provocando Invernos com valores de precipitação mais baixos (Mateus e Cunha, 2013). Um estudo conduzido por Comas-Bru e McDermott (2014) mostra que quando o EA se encontra numa fase positiva, a precipitação no Inverno é menor na maior parte da Europa Ocidental. De forma idêntica, durante a fase positiva do SCA, a precipitação para a mesma região situa-se abaixo do normal.

Pauling *et al.*, (2006) mostraram que a NAO é o modo climático que mais influência tem sobre a precipitação nos períodos de Inverno. No entanto, os resultados mostram também que a relação entre a precipitação e a circulação atmosférica em grande escala não é estável ao longo do tempo e sugere que esta variabilidade pode estar associada a alterações na configuração espacial da NAO e ao aumento do papel desempenhado por outros modos de circulação climática.

A correlação entre a NAO e a precipitação, segundo Kutiel e Trigo (2014) foi elevada durante todo o século XIX tal como para a segunda metade do século XX, sendo que o índice do Atlântico Este (EA) passou a ganhar mais relevância na sua ligação com a precipitação no início do século XX. Deste modo, confirma-se que outros modos de circulação climática para além da NAO, como o Atlântico Este e o índice da Escandinávia, contribuem significativamente para o regime de precipitação Ibérico (Comas-Bru e McDermott, 2014; Kutiel e Trigo, 2014).

Há uma correlação significativa do primeiro modo ACP de precipitação em Coimbra com o índice NAO ao longo dos 110 anos estudados, apresentando um coeficiente de correlação igual a $-0,37$ e correspondente valor-p inferior a $0,01$ (fig. 9). Já no período de 1950 a 1990, o índice SCA apresenta uma maior correlação com o modo 1 do que o índice NAO, tendo um coeficiente de correlação igual a $0,3$ e valor-p inferior a $0,05$ sugerindo haver por isso também alguma influência deste modo de circulação atmosférica no regime de precipitação sentido em Coimbra.

Estes resultados estão em conformidade com os trabalhos referidos anteriormente, visto que a NAO apresenta uma correlação significativa para os 110 anos, e devido também ao facto de que a precipitação pode ser influenciada por outros modelos de circulação, nomeadamente o SCA. Este facto é mais uma indicação da qualidade da série secular de precipitação do OGAUC, dando garantias de que a série pode ser utilizada para estudos climatológicos vários, tal como por exemplo o risco de eventos hidrológicos extremos.

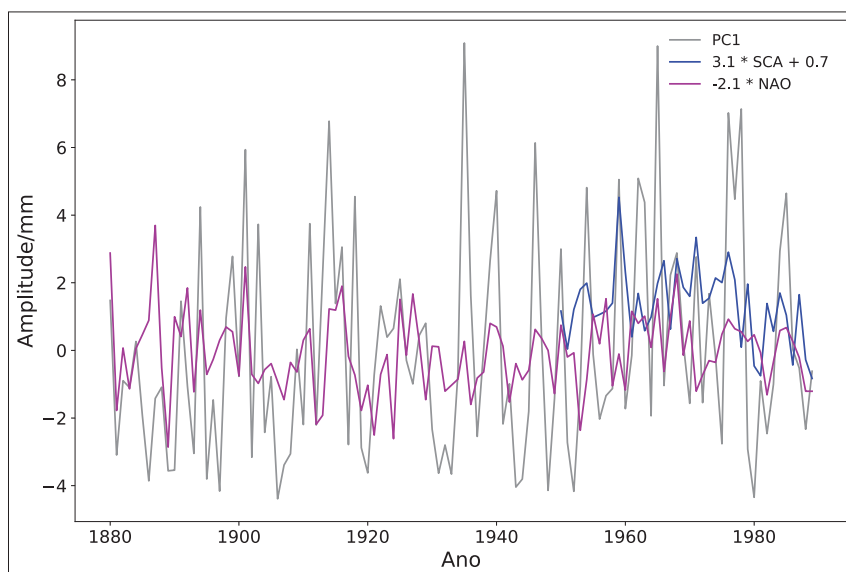


Fig. 9 - Comparação do primeiro modo (PC1) com os índices NAO e SCA.

Fig. 9 - Comparison of the First Mode (PC1) with the NAO and the SCA indexes.

Cheias em Coimbra

De maneira a visualizar mais facilmente a distribuição de anos de cheias, o total de precipitação dos anos hidrológicos para todo o período estudado é exibido em forma de gráfico, onde estão assinalados a vermelho os anos com cheias registadas (fig. 10). De acordo com esta figura, podemos verificar que nem todos os anos de maior precipitação em Coimbra são anos com registo de cheias.

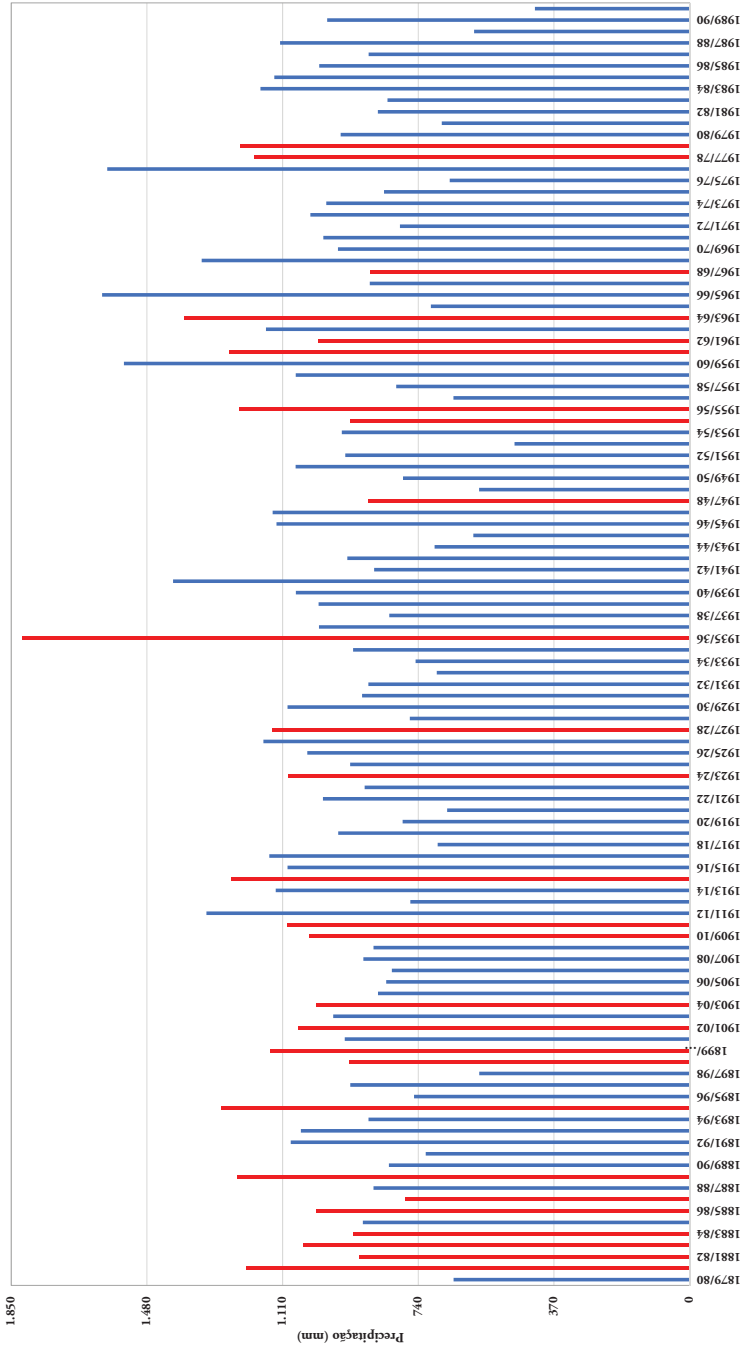


Fig. 10 - Distribuição dos totais anuais de precipitação ao longo do período de estudo com registro dos anos com cheias a vermelho.

Fig. 10 - *Distribution of total annual rainfall over the study period with the flood years recorded in red.*

Vejamos duas situações opostas no que concerne à relação entre a quantidade anual de precipitação e a ocorrência de episódios de cheia – a 10 de novembro de 1886 e a 2 de janeiro de 1962.

- O ano hidrológico 1886/1887 registou um total de precipitação na ordem dos 775,3 mm, sendo dos anos com cheia registada, aquele com menor taxa anual de precipitação. Os primeiros 3 meses, correspondentes a outubro, novembro e dezembro, registaram cerca de 53,2% do total anual, com 412,1 mm de precipitação. No entanto, a cheia deu-se a 10 de novembro, que fica aproximadamente a meio deste período de 3 meses. Ao analisar o mês de setembro, outubro e os 9 dias antecedentes ao pico de cheia, verificamos 319 mm de precipitação, sendo que cerca de 50% deste valor está concentrado no mês de outubro. Os 5 dias antecedentes ao pico de cheia registaram 98,3 mm, o que corresponde a cerca de 12,7% do total anual.
- Já para o caso de janeiro de 1962, este ano hidrológico apresenta um total anual mais elevado, com cerca de 1012,5 mm. O período de outubro a dezembro – correspondente aos 3 meses antecedentes à cheia – registou valores de precipitação na ordem dos 472,7 mm, o que representa cerca de 46,7% do total anual. De 28 de dezembro de 1961 a 1 de janeiro de 1962, correspondente a um período de 5 dias antecedentes ao pico de cheia, verifica-se cerca de 147,6 mm de precipitação nesta estação, refletindo cerca de 17,2% do total anual – o dia anterior ao pico de cheia apresenta um valor de 68,4 mm de precipitação.

Assim, a cheia de 1886 associa-se a um curto período de precipitação intensa, num ano relativamente seco, que fez com que houvesse aumento do caudal local e posterior cheia. Já no caso de 1962, verifica-se um período longo e intenso de precipitação, que levou a uma cheia de características excecionais, com várias inundações no Baixo Mondego, nas ruas da Baixa de Coimbra, tendo quase submerso o Convento de Santa Clara (fig. 11).

Para avaliar a influência da precipitação local no caudal do Mondego em Coimbra, a série de precipitação foi comparada ao caudal médio diário medido na Ponte Santa Clara, para o período de 1955 a 1985.

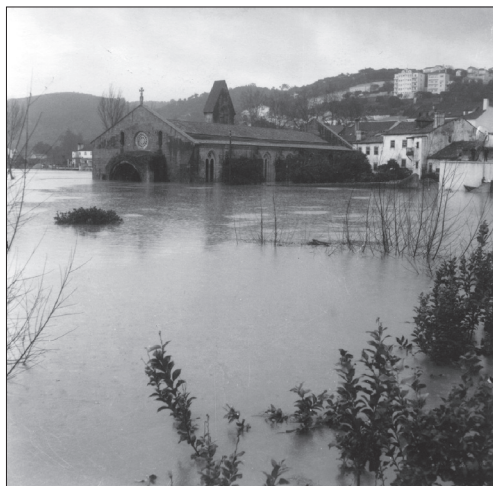


Fig. 11 - Aspeto do Convento de Santa Clara na cheia de 2 de janeiro de 1962 (Fonte: Foto Hilda in I.Paiva, 2020).

Fig. 11 - *View of the Santa Clara Convent in the flood of 2 January 1962 (Source: Photo Hilda in I.Paiva, 2020).*

No caso específico da cheia de janeiro de 1962, observa-se uma aparente correlação entre os dois parâmetros com um atraso de cerca de 1 dia no sinal do caudal (fig. 12).

Para verificarmos se há o mesmo tipo de influência da precipitação no caudal do rio para períodos sem cheias registadas, foram escolhidos os dois anos hidrológicos mais chuvosos, mas que não possuem qualquer registo de cheias em Coimbra (1965/66 e 1976/77). O período observado corresponde aos meses de outubro a março, que é geralmente o período mais chuvoso (fig. 13 e 14). Em geral, é observada uma aparente correlação entre os dois parâmetros, embora por períodos de alguns dias ou semanas essa correlação pareça menos evidente ou mesmo inexistente. Este comportamento deve-se ao facto de o caudal do rio não ser unicamente fruto da precipitação sentida localmente, havendo contribuição de outros fatores, como explicado na Introdução.

Como último passo foi ainda analisado o comportamento da precipitação em anos de cheias em Coimbra, sendo para isso calculada a contribuição mensal para a precipitação anual em todos os anos com cheias registadas (fig. 15). Como podemos verificar nesta última figura, a curva média não é representativa da variabilidade em anos de cheias, em que as curvas são muito mais irregulares e a precipitação tende a concentrar-se num determinado mês. Por outro lado, a variabilidade em anos de cheias também não coincide com nenhum dos modos principais identificados pela ACP.

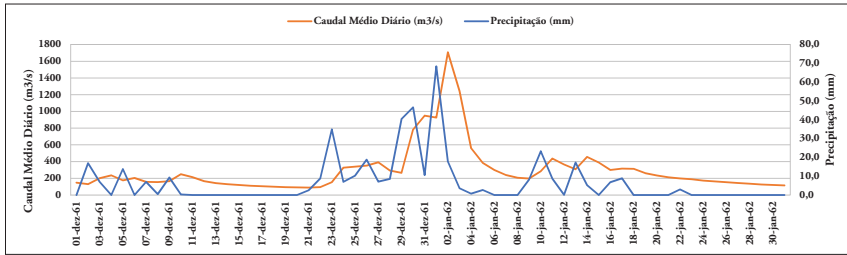


Fig. 12 - Comparação dos valores do caudal na Ponte Santa Clara com os valores de precipitação no IGUC para a cheia de janeiro de 1962 e o mês anterior (Fonte dos dados: SNIRH e IGUC).

Fig. 12 - Comparison of flow values at Santa Clara Bridge with rainfall values at IGUC for the January 1962 flood and the preceding month (Data Source: SNIRH and IGUC).

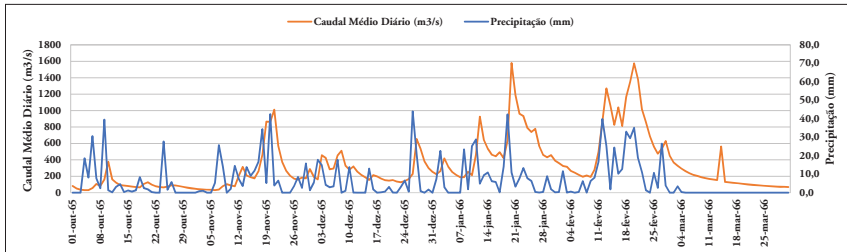


Fig. 13 - Comparação dos valores do caudal na Ponte Santa Clara com a precipitação no IGUC para o período outubro 1965 a março 1966 (Fonte dos dados: SNIRH e IGUC).

Fig. 13 - Comparison of flow values at Santa Clara Bridge with rainfall at IGUC for the period October 1965 to March 1966 (Data source: SNIRH and IGUC).

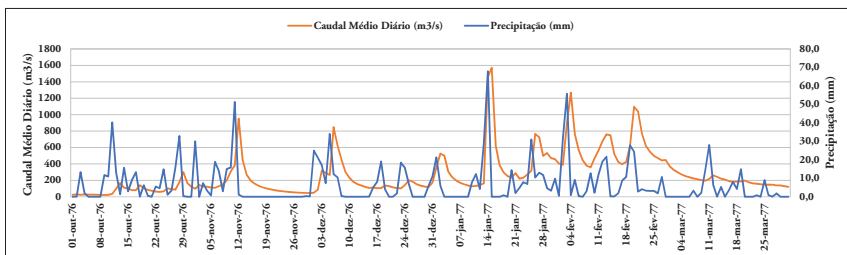


Fig. 14 - Comparação dos valores do caudal na Ponte Santa Clara com a precipitação no IGUC para o período outubro 1976 a março 1977 (Fonte dos dados: SNIRH, e IGUC).

Fig. 14 - Comparison of flow values at Santa Clara Bridge with rainfall at IGUC for the period October 1976 to March 1977 (Data source: SNIRH, and IGUC).

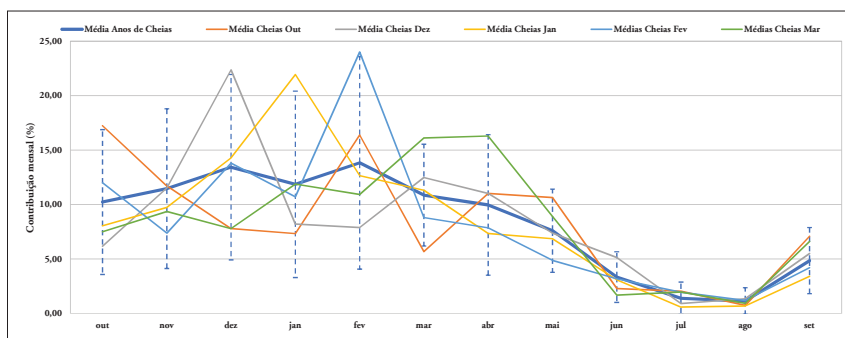


Fig. 15 - Variabilidade Média da contribuição mensal para a curva anual de precipitação para todos os anos com cheias registadas.

Fig. 15 - Average Variability of the monthly contribution to the annual precipitation curve for all years with recorded floods.

Conclusões

Este estudo procurou mostrar o potencial das longas séries de dados climatológicos disponíveis no OGAUC em estudos de avaliação da variação climática e de análise de riscos na região da Bacia do Mondego.

Através da análise estatística ACP, começámos por verificar que a variabilidade da precipitação em anos mais chuvosos em Coimbra apresenta um padrão característico ao longo do ano, com máximo em fevereiro e mínimo em maio. A amplitude desse modo correlaciona-se com os índices de variabilidade climática da região do Atlântico Norte, nomeadamente com a Oscilação do Atlântico Norte e com o Índice da Escandinávia.

Em seguida, verificámos que a correlação dos anos de cheias em Coimbra com os anos de maior precipitação anual é baixa.

Convém ter presente que este trabalho se remete a um período de tempo durante a maior parte do qual o rio Mondego se encontrava em regime natural, e que apenas se utilizaram dados de pluviosidade relativos à cidade de Coimbra. Para uma análise mais aprofundada, será necessário a inclusão de maior número de parâmetros de toda a Bacia do Mondego, nomeadamente intensidade e duração da precipitação noutros pontos da bacia, caudal, uso e ocupação do território, características geomorfológicas da bacia, entre outros.

As séries de dados do OGAUC são testemunhos seculares, únicos, das variações climatológicas observadas na cidade desde há mais de 150 anos. Em breve, esperamos disponibilizá-las a partir do servidor do OGAUC, para sua valorização em estudos diversos.

Agradecimentos

Projeto HISTIGUC “150 anos do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra: história e património das ciências da Terra e Ambiente em Portugal” (PTDC/FER-HFC/30666/2017).

Referências

- Comas-Bru, L., & McDermott, F. (2014). Impacts of the EA and SCA patterns on the European twentieth century NAO-winter climate relationship. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(679), 354–363. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.2158>
- Cunha, P. P. (2002). Vulnerabilidade e risco resultante da ocupação de uma planície aluvial - o exemplo das cheias do rio Mondego (Portugal central), no inverno de 2000/2001. *Territorium*, (9), 13–35. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_9_2
- Custodio, S., Batllo, J., Martins, D., Antunes, F., Narciso, J., Carvalho, S., Gomes, C. R. (2012). Station COI: Dusting Off an Old Seismic Station. *Seismological Research Letters*, 83(5), 863–869. DOI: <https://doi.org/10.1785/0220120014>
- Graça, M. A., Pardal, M. Â., e Marques, J. C. (2002). Aquatic ecology of the Mondego River basin global importance of local experience. *Aquatic Ecology of the Mondego River Basin Global Importance of Local Experience*. DOI: <https://doi.org/10.14195/978-989-26-0336-0>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kutiel, H., & Trigo, R. M. (2014). The rainfall regime in Lisbon in the last 150 years. *Theoretical and Applied Climatology* 2014 118:3, 118(3), 387–403. DOI: <https://doi.org/10.1007/S00704-013-1066-Y>
- López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Kenawy, A., & Beniston, M. (2011). Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: Observed relationships and projections for the 21st century. *Global and Planetary Change*, 77(1–2), 62–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2011.03.003>

- Lourenço, A., Carvalho, S., Barata, T., Garcia, A., Carrasco, V., & Peixinho, N. (2019). Solar observations at the Coimbra Astronomical Observatory. *Open Astronomy*, 28(1), 165–179.
DOI: <https://doi.org/10.1515/astro-2019-0015>
- Mateus, C., e Cunha, L. (2013). A Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e riscos climáticos em Coimbra durante o inverno entre 1950 e 2010. *Territorium*, (20), 37–47.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_20_3
- Modrick, T. M., e Georgakakos, K. P. (2015). The character and causes of flash flood occurrence changes in mountainous small basins of Southern California under projected climatic change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 312–336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.003>
- Nicolau, R. (2002). *Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial da Precipitação - Uma Aplicação a Portugal Continental*. Universidade Nova de Lisboa.
- Oliveira, W., Cunha, L., e Paiva, I. (2017). A influência da Oscilação do Atlântico Norte nos caudais dos rios Vouga e Mondego – relevância na manifestação de cheias e inundações. *GOT - Journal of Geography and Spatial Planning*, (12), 255–279. DOI: <https://doi.org/10.17127/got/2017.12.011>
- Paiva, I. (2020). *Risco de Inundação em Coimbra. Fatores físicos e ação antrópica. As inundações urbanas e as cheias do Mondego (1950/51 - 2003/04)*. (Fundação Eng. António de Almeida, Ed.).
- Pauling, A., Luterbacher, J., Casty, C., e Wanner, H. (2006). Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics*, 26(4), 387–405. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-005-0090-8>
- Portela, M., Samora, M., Delgado, J. F., Sousa, A., Henriques, J., e Vieira, R. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis (Caracterização Climatológica)*.
- Ribeiro, L. T., e Gamito, T. M. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis (Caracterização Geológica e Geomorfológica)*.
- Rocha, J. S. (1995). Prevenção de inundações e reabilitação de edifícios em zonas inundáveis. *Territorium*, (2), 11–20. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_2_2
- Rodrigues, R., Brandão, C., e Pinto Da Costa, J. (n.d.). *Hidrologia das cheias do Mondego de 26 e 27 de Janeiro de 2001*. Retrieved from https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/relatorios/cheias_mondego_2001.pdf
- Santos, Á. J. B. A. (2019). Validação Regional De Estimativas De Precipitação Obtidas Por Satélite (IMERG) Na Bacia Hidrográfica Do Rio Mondego. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Retrieved from <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/93637>
- Santos, B. C., Sanches, R. G., Silva, M. S. D., Kayano, T. Y. K., de Souza, P. H., e Tech, A. R. B. (2018). Análise do efeito orográfico por meio da interpolação de índices climáticos. *Revista de Geografia-PPGEO-UFJF*, 8(2), 114-132.
- Santos, V. G. de S. e. (1995). *Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (bosquejo histórico)* (n. p). Coimbra.
- SNIRH. (n.d.). Dados de Base. Retrieved July 26, 2021, from <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>

SÉRIE ESTUDOS CINDÍNICOS

Títulos Publicados:

- 1 *Incêndios em Estruturas. Aprender com o Passado;*
- 2 *Educação para a Redução dos Riscos;*
- 3 *Metodologia de Análise de Riscos através de Estudos de Casos;*
- 4 *Riscos Hidrometeorológicos;*
- 5 *Pluralidade na Diversidade de Riscos;*
- 6 *Risco Sísmico - Aprender com o Passado;*
- 7 *Territórios em Risco;*
- 8 *Resiliência ao Risco;*
- 9 *Madeira Região Resiliente - Aprender com o Passado;*
- 10 *Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais - Aprender com o Passado.*

Tomos em preparação:

- 11 *Ciência e Redução do Risco;*
- 12 *Geografia dos Incêndios Florestais. 50 anos de Incêndios a queimar Portugal;*
- 13 *Efeitos dos Incêndios Florestais nos Solos de Portugal.*
- 14 *Floresta, Incêndios e Educação;*
- 15 *Redução do Risco e Educação.*



Luciano Lourenço é doutorado em Geografia Física, pela Universidade de Coimbra, onde foi Professor Catedrático, encontrando-se atualmente na situação de jubilado.

É Diretor do NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra e Presidente da Assembleia Geral da RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança.

Exerceu funções de Diretor-Geral da Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais, Presidente do Conselho Geral da Escola Nacional de Bombeiros e Presidente da Direção da Escola Nacional de Bombeiros.

Consultor científico de vários organismos e de diversas revistas científicas, nacionais e estrangeiras, coordenou diversos projetos de investigação científica, nacionais e internacionais, e publicou mais de mais de três centenas de títulos, entre livros e capítulos de livro, artigos em revistas e atas de colóquios, nacionais e internacionais.



Adélia Nunes é Professora Associada, com Agregação em Geografia, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, onde exerce funções de docência e investigação.

Diretora do Departamento de Geografia e Turismo, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, membro integrado do Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), da RISCOS (Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança) e do NICIF (Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais).

Ingressou na carreira docente universitária em 1999. Em 2001 concluiu o Mestrado em Geografia Física e em 2007 o Doutoramento em Geografia.

Dinâmica da paisagem, riscos naturais e mistos e gestão de recursos naturais são as principais áreas de investigação, tendo publicado várias dezenas de trabalhos, onde se incluem capítulos de livros e artigos em revistas de especialidade. Desde 2008 colabora no Mestrado em Ensino de Geografia e em 2017 assumiu a Coordenação do Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território.



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA



estudos
CINDÍNICOS